

Una forma de mejorar su performance, sería aumentando la rigidez de la estructura. Se puede lograr un cambio de masa, modificando el peso propio (adición de balasto) con lo cual se disminuye la amplitud de vibración.

Las torres de refrigeración tienen la forma de hiperboloide de revolución, superficie de doble curvatura, que permite sea una lámina delgada. En Foto 13.15 se observan daños superficiales provocados por la acción reiterada del viento



Foto 13.15.-Daño exterior del revestimiento por carbonatación de la superficie incrementado por la acción del viento (Construido en 1950)



Foto 13.16 Torres de enfriamiento en la planta de FERRYBRIDGE (Ref. 5)

También pueden sufrir daños estructurales como el ocurrido en la torre de Ferribridge (Foto 13.16) En una hora de vientos fuertes viento fuerte fueron dañadas 3 torres gravemente con derrumbe de sectores y las demás sufrieron daños (Nov. 1965) con deformaciones en el anillo extremo

De acuerdo con observaciones realizadas por CHAN y FIRMIN el mecanismo de rotura es un fenómeno de pandeo debido a la esbeltez de la lamina, (11 cm.) y altura alrededor de 80 m.

### **13.7.- Torres reticuladas sin tensores**

Generalmente se refiere a torres para líneas eléctricas de media y alta tensión y existen numerosos casos de accidentes.

Blessmann cita diversos casos sucedidos en Japón y en Brasil, bajo ráfagas de hasta 216 km/h en torres construidas con perfiles tubulares cilíndricos.

Año 1934: 230 Torres destruidas

Año 1959: 164 Torres destruidas

Año 1951: 21 Torres destruidas

Como las torres están unidas por los cables en su parte superior, si una se vuelca por efecto de una ráfaga violenta, los cables ejercen presión sobre las torres adyacentes y puede producirse un colapso en cadena.

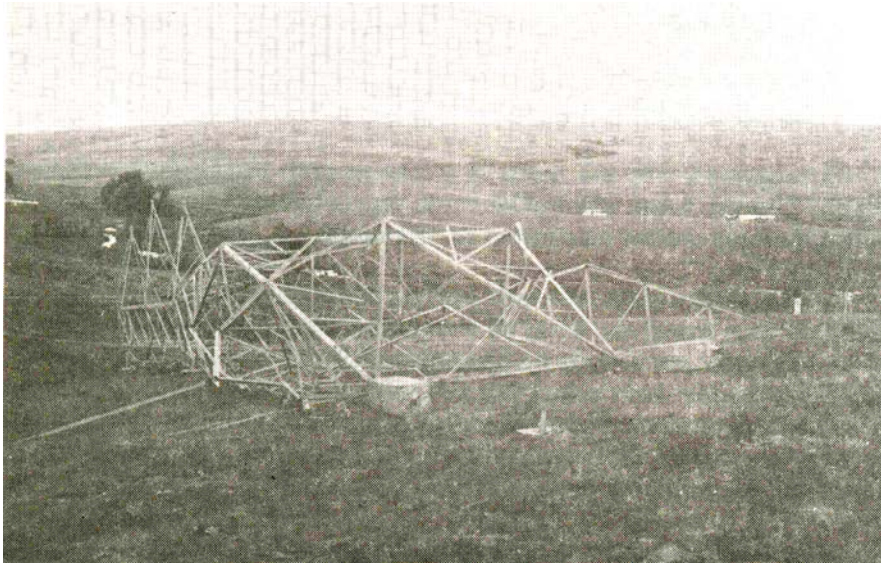


Foto 13.17.- Torre entre la Usina Termoeléctrica Presidente Medici y Quinta

En [38] Blessmann cita el caso del colapso de las torres No. 36 a 40 en la línea de transmisión entre la Usina Termoeléctrica Presidente Médici y Quinta. (Foto. 13.17) "La primera torre a entrar en colapso debe haber sido la del medio, alcanzada por una ráfaga de viento excepcionalmente violento. Esta torre fue arrancada e sus fundaciones, llevando consigo parte de las dos fundaciones de hormigón armado del lado de barlovento. Las bases de estas dos patas de la torre fueron dislocadas transversalmente a la línea, a una distancia e 9,10 m.El esfuerzo lateral causado en las cuatro torres vecinas (dos de cada lado) por el desplazamiento de los cables, con el derrumbe y desplazamiento transversal de la torre central, junto a los esfuerzos originados por las altas velocidades del viento sobre los cables y las torres vecinas,provocó el colapso por flexión de las otras cuatro torres"

Un ejemplo reciente, es la torre letrero de propaganda del Hotel Hilton en las Vegas USA (Foto 13.18).

Era un reticulado metálico espacial de 109 m. de altura. Construida en septiembre de 1993 a un costo de U\$S 5.000.000, que llevaba en su frente 77.000 lámparas incandescentes y 6.000 fluorescentes. Se calculó numéricamente (no se hizo ensayo en túnel de viento ) para un viento máximo de 220 km/h

En Julio 18 de 1994 se produjo el colapso de la mitad superior , que se plegó bajo un viento de 145 km/h (Foto 13.19)

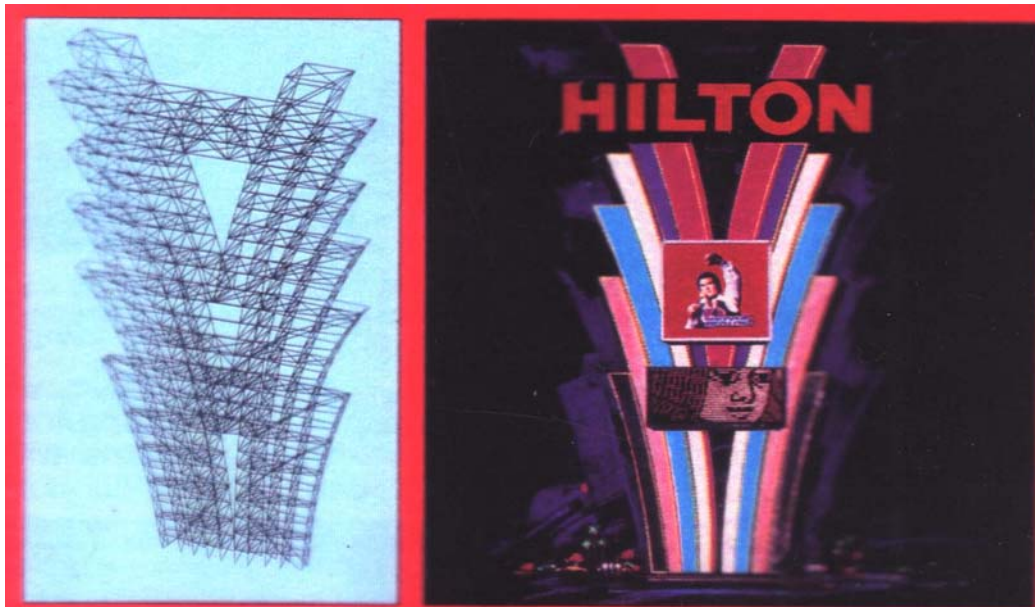


Foto 13.18.- Estructura ante del colapso (1993) (Ref.47)



Foto 13.19.- Estructura después de colapso (1994) (Ref.47)

### 13.8.- Puentes.

En [39] se detallan los tipos de puentes existentes, de acuerdo con la luz a cubrir (Fig. 13.40). Los más comunes utilizados en la actualidad para grandes luces son los puentes a obenques.

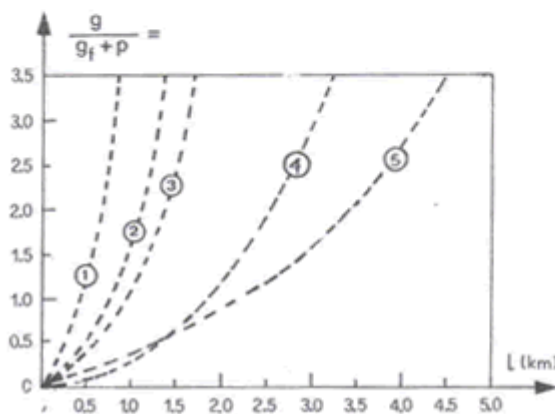
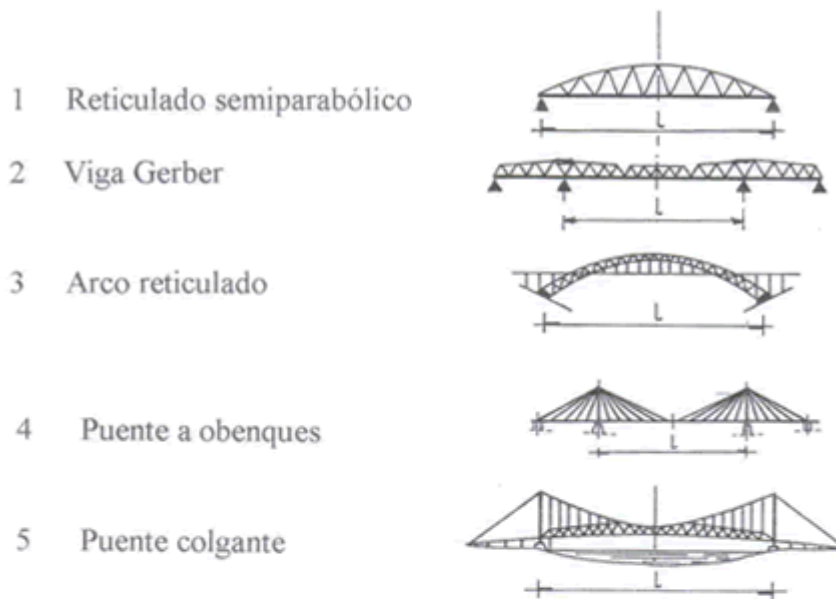


Fig 13.40. Puentes usuales de grandes luces [Ref. 39]

En el gráfico se observan los límites de luces L para los diferentes tipos de puentes. Los colgantes llegan hasta 4,5 Km y los de obenques, que son los mas comunes actualmente, hasta 3 Km. No obstante, hoy con las nuevas tecnologías, se sobrepasaron estos valores.

### 13.8.1.- Puentes a obenques

#### 13.8.1...- Vibraciones autoexcitadas

Son producidas por la separación de vórtices a sotavento del tablero, independientes de la deformación del mismo.

A bajas velocidades, pueden aparecer vórtices de Karman detrás de la estructura (a sotavento) que en este caso dan origen a movimientos alternados en sentido vertical, de amplitud creciente y pueden originar fenómenos de resonancia.

$$\text{Número de Reynolds: } Re = \frac{V \cdot D}{\mu}$$

$$\text{Numero de Strohual : } St = \frac{f_e \cdot D}{V_{cr}}$$

En los puentes a obenques generalmente  $St = 0,20$  y los valores de  $V_{ci}$  es la velocidad donde la frecuencia de la estructura se iguala a la del viento y se produce la resonancia. Las velocidades del viento pueden considerarse entre 5 y 50 m/seg. Dentro de ese entorno puede ocurrir la  $V_{cr}$ .

Como ejemplo, para una frecuencia de 0,6 1/seg,  $St = 0,20$  y  $c = 6$  m la velocidad crítica será  $V_{cr} = 18$  m/seg (65 Km/h) Si  $St = 0,10$ ,  $V_{cr} = 36$  m/seg (130 Km/h)

Precauciones de proyecto para disminuir ese efecto:

- Colocación de aletas móviles dispuestas en los costados a lo largo de L para crear fuerte turbulencia que destruyan los vórtices de Karman.
- Reducción de las fuerzas verticales provocadas por esos vórtices que son función de  $V_{cr}$  y forma de tablero.

Estos estudios se hicieron en túneles de viento sobre modelo variando la forma de la sección transversal y se observó que la fuerza transversal se reduce mucho si se le da forma aerodinámica al tablero. Conviene que  $B / D = 10$

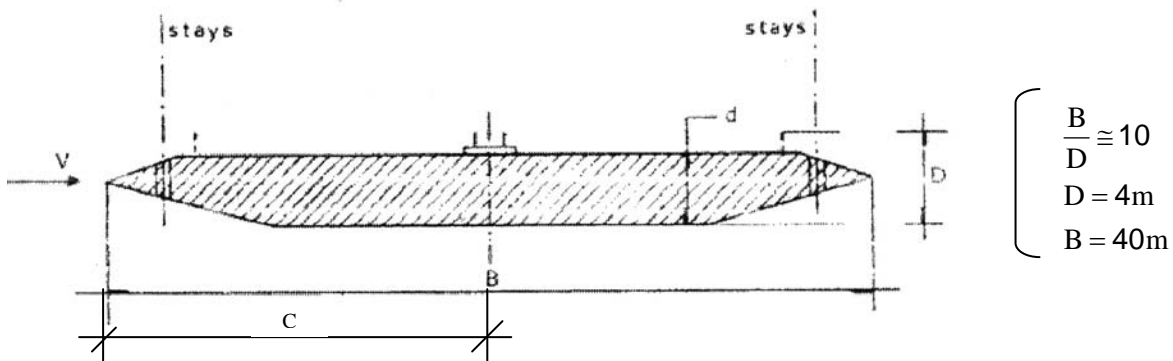


Fig. 13.41- Perfil ideal del tablero [Ref 39]

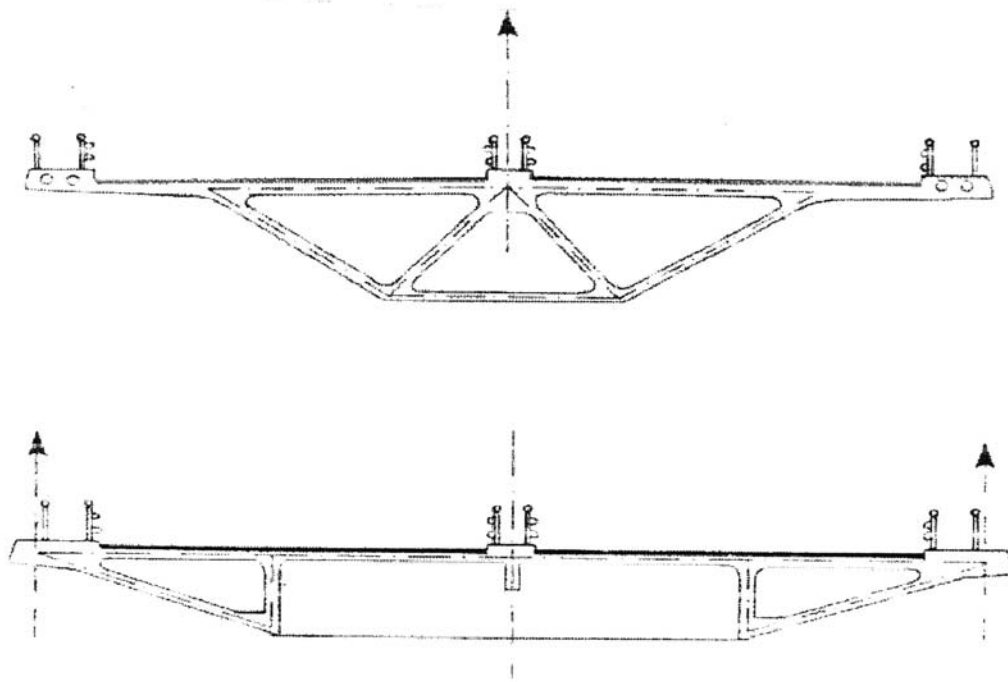


Fig. 13.42- Perfiles usuales con las perforaciones longitudinales [Ref 39]

### 13.8.2. Análisis dinámico

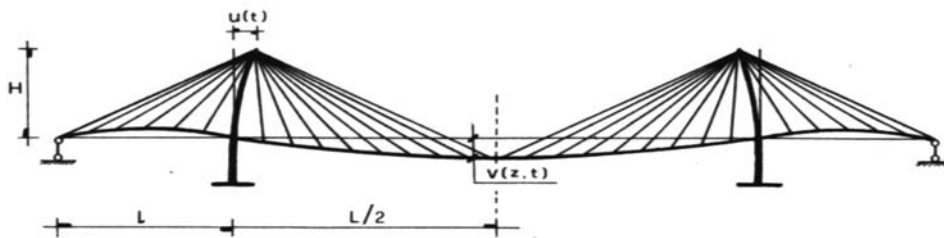


Fig. 13.43- Vibración flexotorsional simétricas [Ref 39]

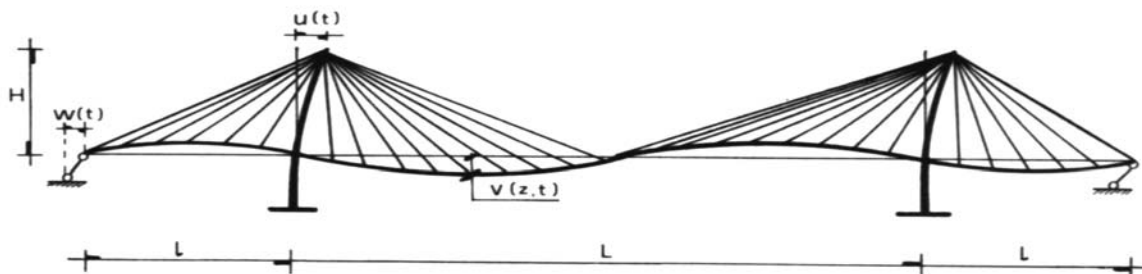


Fig.13.44.- Vibración flexotorsional antisimétrica [Ref 39]

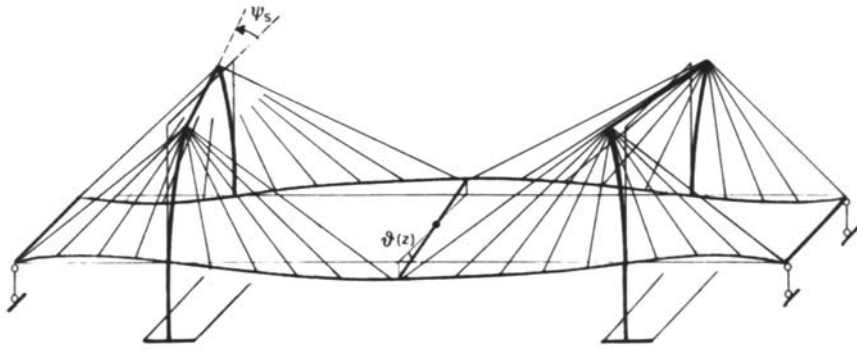


Fig. 13.45- Vibración torsional simétrica [Ref 139]